

Hannu Vainikka

# KAUKOLÄMMÖN KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUS

Teoria ja toteutuminen

Opinnäytetyö  
Talotekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>	
<b>Tekijä(t)</b> Hannu Vainikka		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Talotekniikka</b> LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto	
<b>Nimeke</b>  Kaukolämmön käyttöveden lämmönsiirtimien mitoitus – Teoria ja toteutuminen			
<b>Tiivistelmä</b>  Opinnäytetyössä on tutkittu kaukolämmön käyttöveden lämmönsiirtimien mitoitusarvojen toteutumista, kun mitoitus tehdään nykyisten rakennusmääräysten mukaisesti.  Työssä on tutkittu neljän eri kohteen lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimeen toimintaa. Mittauksia suoritettiin jokaisessa kohteessa noin viikon verran. Mittausten ajankohta oli helmi-maaliskuu 2010.  Kaikilta osin mittauksissa ei saavutettu riittävän luotettavia tuloksia. Tarkempien tulosten saamiseksi pitäisi käyttää luotettavampia mittausten menetelmiä.  Saatujen tulosten perusteella nykyisten rakennusmääräysten mukaan tehdyissä lämmönsiirtimien mitoituksissa tapahtuu ylimitoitusta. Lämmönsiirtimien hintaerot ovat kuitenkin niin pieniä, ettei ole kannattavaa valita pienempää siirrintä, vaikka se olisikin teholtaan riittävä. Säästöventtiilin valintaan täytyy kiinnittää huomiota, jotta lämpötilalaatu pysyisi hyvänä.			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Kaukolämpö, lämmönsiirrin, käyttövesi			
<b>Sivumäärä</b> 26	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Jarmo Tuunanen		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Insinööritoimisto A. Mustonen	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b>  Hannu Vainikka		<b>Degree programme and option</b>  Building services engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Measuring Domestic Hot Water Heat Exchanger in District Heating – Theory and Implementation			
<b>Abstract</b>  <p>The subject of this thesis is to investigate the dimensioning of domestic hot water heat exchanger in district heating, when dimensioning has been made according to current building requirements.</p> <p>Domestic hot water heat exchangers in four different subject locations were studied for this thesis. Measurements were made in every subject location for approximately one week. The measurements were conducted in February – March 2010.</p> <p>All of the results were not reliable enough. Getting more reliable results would require more reliable measuring systems.</p> <p>Based on the results gathered, the dimensioning of domestic hot water heat exchangers in district heating made according to current building standards is oversized. The price differences in water heat exchangers are so small that it is of no use to choose a smaller heat exchanger, even if it were sufficient in power. Choosing the correct valve is essential in order to achieve optimum temperatures.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  district heating, heat exchanger, domestic hot water			
<b>Pages</b>  26	<b>Language</b>  Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b>  Jarmo Tuunanen		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Insinööritoimisto A. Mustonen	

## SYMBOLI LUETTELO

Tässä työssä on käytetty seuraavia symboleita:

$A_{br}$	Rakennuksen bruttoala, $brm^2$
$\rho$	Nesteen tiheys, $kg/m^3$
$\beta$	Säätöventtiilin auktoriteetti
$c_{pv}$	Veden ominaislämpökapasiteetti, $kJ/kgK$
$\Delta t$	Ajanjakson pituus, vuorokautta
$\Delta T$	Lämpötilaero, $^{\circ}C$
$\Delta p_{sv}$	Valitun säätöventtiilin painehäviö mitoitusvirtaamalla, $kPa$
$\Delta p_{mit}$	Lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero, $kPa$
$\Delta p$	Mitoituspainehäviö, $kPa$
$k_v$	Säätöventtiilin $k_v$ -arvo
$l_{v,mit}$	Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, $dm^3/s$
$n$	Henkilöiden lukumäärä
$Q_{lkv, netto}$	käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve, $kWh$
$q_v$	Lämpimän käyttöveden virtaama, $dm^3/s$
$q_{v,mit}$	Normivirtaamien summa, $dm^3/s$
$t_s$	Sisälämpötila, $^{\circ}C$
$t_{u,mit}$	Mitoitusulkolämpötila, $^{\circ}C$
$T_{lkv}$	Lämpimän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}C$
$T_{kv}$	Kylmän käyttöveden lämpötila, $^{\circ}C$
$t_{es}$	Ilman esilämmityslämpötila, $^{\circ}C$
$\Phi_{lkv,pat}$	Käyttövesipiiriin liitettyjen lämmityslaitteiden teho, $kW$
$\Phi_{pat}$	Lämmityspatterien teho, $kW$
$\Phi_{ki}$	Kierrätysilmakoneiden teho, $kW$
$\Phi_{jäl}$	Jälkilämmityspatterien tehot täydellä ilmavirralla, $kW$
$\Phi_{lto}$	Lämmön talteenottoteho täydellä ilmavirralla, $kW$
$\Phi$	Käyttöveden lämmönsiirtimen teho, $kW$
$V_{lkv}$	Lämpimän käyttöveden kulutus, $m^3$
$V_{lkv, omin, henk}$	Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, $dm^3$ henkilöä kohti vuorokaudessa

$V_{\text{lkv, omin}}$	Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, $\text{m}^3/\text{brm}^2$ vuodessa
$V$	Säätöventtiilin mitoitusvirtaama $\text{dm}^3/\text{s}$
$V_{\text{lkv}}$	Lämpimän käyttöveden kulutus, $\text{m}^3$
1000	Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kuutiometreiksi,
$\text{dm}^3/\text{m}^3$	
365	Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos vuosikulutuksesta
	vuorokausikulutukseksi, vuorokautta/vuosi
3600	Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi,
s/h	

## **SYMBOLI LUETTELO**

## **SISÄLTÖ**

1.	JOHDANTO .....	1
2.	TUTKIMUKSEN TAUSTA, TAVOITTEET, TOTEUTUS JA RAJAUS .....	1
2.1	Tavoite.....	2
2.2	Toteutus.....	2
2.3	Rajaukset .....	2
3.	YLEISTÄ .....	3
4.	LÄMMÖNSIIRTIMET .....	3
5.	KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUS .....	5
5.1	Käyttöveden lämmönsiirtimeen teho .....	5
5.2	Säätöjärjestelmä .....	6
5.3	Säätöventtiilin mitoitus .....	7
5.4	Käyttöveden lämmitysenergian tarve.....	8
5.5	Kytkenät .....	9
6.	KUSTANNUKSET .....	9
7.	MITTAUSMENETELMÄT .....	10
8.	MITTAUKSET .....	12
9.	KOhteet .....	14
9.1	Vihertorni.....	14
9.2	Moas 7 .....	15
9.3	Rantakylä.....	15
9.4	Moas 4-5.....	15
10.	TULOKSET .....	16
10.1	Moas 4-5.....	17
10.2	Rantakylä.....	18
10.3	Moas 7 .....	20
10.4	Vihertorni .....	21
11.	SÄÄTÖVENTTIILIN KOON VAIKUTUS SÄÄTÖÖN .....	23
12.	YHTEENVETO .....	24

13. LÄHTEET .....	27
14. LIITTEET .....	28

## 1. JOHDANTO

Tässä työssä on tutkittu kaukolämmön käyttöveden lämmönsiirtimien mitoitus ja toimivuutta käytännön tilanteissa. Työn tilaajana oli Insinööritoimisto A. Mustonen, jonka toimipisteet sijaitsevat Kajaanissa ja Kuusamossa. Työn tarkoituksena on selvittää onko taloudellisesti ja toiminnallisesti kannattavaa valita pienempää lämpimän käyttöveden lämmönsiirrintä, jos Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 ja energiateollisuuden julkaisun K1 mukaan tehdyssä lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituksessa on tapahtunut ylimitoitusta.

Työssä on tutkittu kuinka hyvin tämänhetkisellä mitoitusmenetelmällä mitoitettu lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin toimii ja onko mitoituksen antama huipputeho riittävä kaikissa olosuhteissa. Työssä on tutkittu minkälaisia ongelmia lämmönsiirtimien määräysten mukainen mitoittaminen aiheuttaa, sekä onko ylimitoituksen aiheuttamilla ylimääräisillä laitteistohankinnoilla todellista merkitystä kaukolämpölaitteiston perustuskustannuksiin. Tutkimuksessa on selvitetty käyttöveden lämmönsiirtimen osuutta lämmönjakokeskuksen kokonaishintaan. Kustannuksia on selvitetty puhelinhaastatteluin ja kysely käyttöveden lämmönsiirtimen koon vaikutusta lämmönjakokeskuksen kokonaishintaan.

Tutkimus on tehty suorittamalla käytännön mittauksia todellisissa kohteissa. Mittauksista saatuja tuloksia on vertailtu mitoitusarvoihin. Mittaukset käsittivät neljä eri kohdetta, joita jokaista tutkittiin noin viikon mittainen jakso. Mittauksien ajankohtana oli helmi-maaliskuu 2010.

## 2. TUTKIMUKSEN TAUSTA, TAVOITTEET, TOTEUTUS JA RAJAUS

Lämpimän veden käyttö on vähentynyt viime vuosien aikana, koska vesikalusteet ovat kehittyneet vähemmän vettä kuluttaviksi. Tämän johdosta tutkimuksessa selvitetään, onko nykyinen lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimien mitoitus ajan tasalla vai pitäisikö sitä kehittää, jotta voitaisiin pienentää laitteistoinvestointeja sekä kehittää sää-  
töjärjestelmästä tarkempi. Säästöventtiilin mitoituksen kehittämällä voidaan parantaa itse lopputuotteen, lämpimän käyttöveden, lämpötilalaatua. Tutkimuksessa selvitetään,



onko pienemmällä käyttöveden lämmönsiirtimellä merkittävää vaikutusta lämmönjakokeskuksen investointikustannuksiin.

## **2.1 Tavoite**

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kaukolämmön lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituksen toimivuus käytännössä. Tutkimuksessa selvitetään onnistuuko mitoitus oikein, kun se tehdään nykyisten rakennusmääräysten mukaisesti. Työssä etsitään mahdollisia säästömahdollisuuksia käyttöveden lämmönsiirtimien hankinnassa.

## **2.2 Toteutus**

Tutkimus perustuu todellisissa kohteissa tehtyihin mittauksiin. Otantana on neljä eri kohdetta, joista jokainen on ollut seurannassa noin viikon mittaisen ajanjakson. Mittauksista saatuja huipputehoja on verrattu suunnitteluarvoihin ja vertailtu onko tapahtunut ali- vai ylimitoitusta. Käytössä olevat mittausmenetelmät asettavat rajat mittaustarkkuuteen.

Kustannuksia on selvitetty tekemällä kyselyjä käyttöveden lämmönsiirtimien valmistajille ja selvitetty, ovatko pienemmästä siirtimestä saadut säästöt merkittäviä.

## **2.3 Rajaukset**

Työssä käsitellään ainoastaan kaukolämpöön kytkettyjen asuinkerrostalojen käyttöveden lämmönsiirtimiä. Pientalot ja rivitalot jäävät tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Lämmönsiirtimistä tutkitaan ainoastaan rekuperatiivisia siirtimiä, koska niitä käytetään käyttöveden lämmönsiirtimissä. Sääätöjärjestelmissä keskitytään ainoastaan yksikkösäätimeen ja muut lämpimän käyttöveden säätötavat rajataan pois tästä tutkimuksesta.

### 3. YLEISTÄ

Asuinkerrostalossa lämpimän käyttöveden osuus veden kokonaiskulutuksesta on noin 40 %. Keväällä, kesällä ja syksyllä, jolloin kylmän käyttöveden lämpötila on useita asteita korkeampi kuin talvella, käytetään lämmintä käyttövettä kokonaiskulutuksesta noin 20—30 %. Talvella kylmän käyttöveden lämpötilan ollessa alimmillaan saattaa lämpimän käyttöveden osuus kokonaiskulutuksesta olla jopa 50 %. Lämpimälle käyttövedelle ovat tyypillisiä suuret tehovaihtelut, jotka vaikeuttavat järjestelmien suunnittelua ja mitoitusta /1/.

Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoitus kaukolämmössä tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot, sekä energiateollisuuden julkaisun K1 Rakennusten kaukolämmitys mukaan. Tavoitteena on saavuttaa oikean lämpöinen lämmin käyttövesi kaikissa olosuhteissa.

1970-luvulla tapahtunut vesikalusteiden kehittyminen ja talousvesiputkistojen mitoituksen tarkentuminen ovat tehneet mahdolliseksi kehittää käyttöveden lämmityksen mitoitusmenetelmiä. Nykyään käytössä olevat tarkat lähtöarvot johtavat monesti aiheettomaan ylimitoitukseen ja tätä kautta tarpeettoman suuriin laitteistoinvestointeihin /2/.

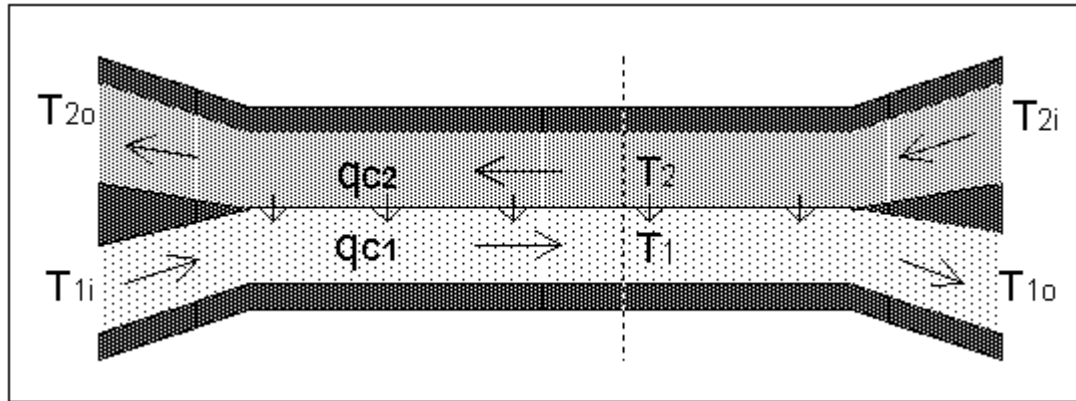
### 4. LÄMMÖNSIIRTIMET

Lämmönsiirtimet siirtävät lämpöä ainevirrasta toiseen sekoittamatta kuitenkaan aineita keskenään. Lämmönsiirtimet ovat kehittyneet kuparikierukkalämmönsiirtimistä levylämmönsiirtimiin ja nykyisin käytetään lähes pelkästään levylämmönsiirtimiä. Levylämmönsiirtimet olivat aluksi tiivisteellisiä ja näin ollen avattavia, mutta nykyään ne ovat pääsääntöisesti juotettuja, suljettuja levylämmönsiirtimiä.

Lämmönsiirtimet voidaan jakaa virtausgeometrian puolesta kolmeen päätyyppiin:

### Vastavirtalämmönsiirrin

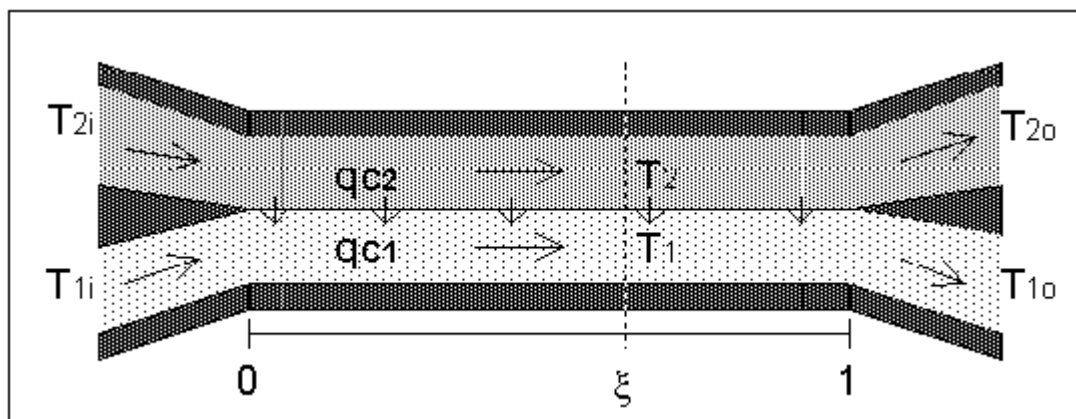
Vastavirtalämmönsiirtimessä ainevirrat kulkevat niitä erottavan materiaalin molemmiin puolin vastakkaisiin suuntiin.



Kuva 1. Vastavirtalämmönsiirrin /3/

### Myötavirtalämmönsiirrin

Myötavirtasiirtimessä ainevirrat kulkevat niitä erottavan materiaalin molemmilla puolilla samaan suuntaan.



Kuva 2. Myötavirtalämmönsiirrin /3/

### Ristivirtalämmönsiirrin

Ristivirtasiirtimessä ainevirrat kulkevat niitä erottavan materiaalin molemmiin puolin toisiaan vastaan ristikkäiseen suuntaan.

Kaukolämmössä pyritään aina mahdollisimman suureen lämpötilamuutokseen, jolloin paras ratkaisu lämmönsiirtimeksi on vastavirtalämmönsiirrin. Lämmönsiirtimissä pyritään aina mahdollisimman hyvään lämmönläpäisykertoimeen käytettävissä oleva paine-ero huomioiden. /1/

## 5. KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUS

Lämpimän käyttövedenvirtaaman mitoitus aloitetaan laskemalla normivirtaamien summa ( $q_{vmit}$ ). Tämän jälkeen lasketaan mitoitusvirtaama Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan /4/.

Lämpimän käyttöveden järjestelmä suunnitellaan siten, että lämpimän käyttöveden lämpötila pysyy 58 °C:ssa. Veden lämpötila ei saa laskea alle 55 °C:n, eikä nousta yli 65 °C:n /4/. Vesilaitteiston odotusajan johto-osuuksissa veden lämpötila voi laskea alle 55 °C:n /6/. Käyttöveden mitoitusvirtaamana käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 lämpimän käyttöveden jakojohdon mitoitusvirtaamaa. Käyttöveden lämmönsiirtimen teho mitoitetaan kuitenkin siten, että siitä saatavan käyttöveden lämpötila mitoitusvirtaamalla on 58 °C. Pientalossa käyttöveden vesivirran on oltava vähintään 0,3 dm<sup>3</sup>/s, joka vastaa lämmönsiirtimen lämpötehoa 60 kW. Käyttöveden jatkuvan virtauksen virtausnopeus putkistossa saa olla enintään 1,0 m/s eroosio- korroosiovaaran takia, joten mitoitusnopeutena käytetään 0,5 m/s /5/.

### 5.1 Käyttöveden lämmönsiirtimen teho

Käyttöveden lämmönsiirtimien tehon yhtälö saadaan energiateollisuuden julkaisusta K1 /5/.

Käyttöveden lämmönsiirtimen teho lasketaan seuraavalla yhtälöllä.

$$\Phi = q_v \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T \quad (1)$$

$\Phi$ = Lämmönsiirtimen teho, kW

$q_v$ = Lämpimän käyttöveden virtaama, dm<sup>3</sup>/s

$c_p$ = Ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

$\rho$ = Nesteen tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$\Delta T$ = Lämpötilaero, °C

## 5.2 Säätojärjestelmä

Lämpimän käyttöveden säätö kaukolämpöverkkoon kytketyssä lämmönjakokeskuksessa tapahtuu säätämällä kaukolämpöveden virtausta siten, että siirtimen toisiopuolelle saadaan halutun lämpöistä vettä. Säätoventtiili on asennettu kaukolämmön ensiöpuolelle. Säätokeskus ohjaa säätoventtiiliä lämpimästä käyttövedestä saadun mittaus tuloksen perusteella ja pyrkii pitämään veden lämpötilaa sille asetetussa asetusarvossa /1/.

Lämpötilan säätö on tekniikaltaan hyvin yksinkertainen järjestelmä, mutta tarkkaa säätöä hankaloittavat suuret kuormituksen muutokset ja aina vain pienentyvien lämmönsiirtimien pieni vesitilavuus.

Säätojärjestelmät on suunniteltava siten, että haluttu lopputulos saavutetaan kaikissa käyttöolosuhteissa. Käyttöveden säätölaitteiden oikea toiminta takaa tasalämpöisen lämpimän käyttöveden kaikissa käyttöolosuhteissa.

Energiateollisuuden julkaisun K1 /5/ mukaan, säätojärjestelmän tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- |   |             |
|---|-------------|
| 1. Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta  | +/- 2 °C    |
| Sallittu palautumisaika muutoksen alkuhetkestä siihen hetkeen, kun em. vaatimus täyttyy | 2 minuuttia |
| 2. Suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta   |             |
| Lämmityksen säätojärjestelmät   | +/- 5 °C    |
| Muut säätojärjestelmät  | +/- 10 °C   |
| 3. Sallittu jatkuva huojunta  |             |
| Käyttöveden säätojärjestelmät   | +/- 2 °C    |
| Muut säätojärjestelmät  | +/- 0,5 °C  |

### 5.3 Säästöventtiilin mitoitus

Säästöventtiilin kv-arvo lasketaan yhtälöllä 2.

$$K_v = \frac{V}{\sqrt{\Delta p}} \quad (2)$$

V= mitoitusvirtaama, m<sup>3</sup>/h

Δp= mitoituspaine häviö, bar

Lämmönmyyjä ilmoittaa käytettävissä olevan paine-eron. Vähimmäispaine-ero, jolla laitteiden on toimittava, on 60 kPa. Säästöventtiilin auktoriteetin eli vaikutusasteen β tulee olla yli 0,5. Venttiilin auktoriteettiaste kertoo venttiilin painehäviön suhteessa käytettävään paineeseen. Eli jos venttiili on liian iso, sillä säätäminen on vaikeaa, koska säädön vaikutus ei ole riittävän nopea. Säästöventtiiliä valittaessa on parempi valita pienempi kuin suurempi säästöventtiili.

Säästöventtiilin auktoriteetti lasketaan yhtälöllä 3.

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{mit}} \quad (3)$$

β = säästöventtiilin auktoriteetti

Δp<sub>sv</sub>= valitun säästöventtiilin painehäviö mitoitusvirtaamalla, kPa

Δp<sub>mit</sub>= lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero, kPa

Kahta tai useampaa säästöventtiiliä tulee käyttää sellaisissa tilanteissa, joissa säädettävä teho vaihtelee laajalla alueella. Pienempi venttiili mitoitetaan 30 prosentin mitoitusaste-  
hoavastaavalla virtaamalla /5/.

## 5.4 Käyttöveden lämmitysenergiantarve

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia voidaan laskea Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 antamien yhtälöjen avulla. /6/

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia lasketaan yhtälöllä 4.

$$Q_{lkv, netto} = \frac{\rho_v \cdot c_{pv} \cdot V_{lkv} \cdot (T_{lkv} - T_{kv})}{3600} \quad (4)$$

$Q_{lkv, netto}$  = käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve, kWh

$\rho_v$  = veden tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$c_{pv}$  = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

$V_{lkv}$  = lämpimän käyttöveden kulutus, m<sup>3</sup>

$T_{lkv}$  = lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

$T_{kv}$  = kylmän käyttöveden lämpötila, °C

3600 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Nettoenergiantarve sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämisen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan ilman mahdollista lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergiaa.

Ellei perustelluista syistä ole tarvetta käyttää muita arvoja, käytetään lämpimän ja kylmän veden lämpötilaeron ( $T_{lkv} - T_{kv}$ ) arvoa 50 °C /6/.

Lämpimän käyttöveden kulutus voidaan laskea rakennusmääräyskokoelman osan D5 /6/ mukaan joko henkeä tai pinta-alaa kohti olevasta ominaiskulutuksesta.

Käyttöveden kulutus henkilömäärän mukaan lasketaan yhtälöllä 5.

$$V_{lkv} = \frac{V_{lkv, omin, henk} \cdot n \cdot \Delta t}{1000} \quad (5)$$

Käyttöveden kulutus pinta-alan mukaan lasketaan yhtälöllä 6.

$$V_{lkv} = \frac{\frac{V_{lkv, omin} \cdot A_{br} \cdot \Delta t}{365}}{1000} \quad (6)$$

## 5.5 Kytkennät

Suomen energiateollisuuden julkaisu K1 /5/ määrittää kaukolämmössä käytettävät kytkennät seuraavanlaisesti.

### Peruskytkentä 1

Peruskytkentää 1 käytetään uusissa asuinrakennuksissa, joissa käyttöveden mitoitus-teho on yli 220 kW, sekä asuinrakennuksissa, joissa käyttöveden mitoitus-teho on vähintään 120 kW (n. 6 asuntoa) ja lämmityssiirtimien kaukolämpöveden paluulämpötila on mitoitus-tilanteessa yli 45 °C. Muissa rakennuksissa, joissa lämmitys- tai ilmanvaihto-siirtimien kaukolämpöveden paluulämpötila on yli 45 °C ja/tai rakennuksen käyttö-veden teho ja kulutuksen pysyvyys ovat sellaisia, että kytkennällä saavutetaan selvästi parempi kaukolämpöveden jäähdytys.

### Peruskytkentä 2

Peruskytkentää 2 käytetään silloin kun peruskytkentä 1 tai pientalokytkentä eivät tule kyseeseen. Eri kytkentäkaaviokuvat on esitetty liitteissä 5 ja 6.

## 6. KUSTANNUKSET

Käyttöveden lämmönsiirtimen koon pienentäminen vaikuttaa lämmönjakokeskuksen kokonaishintaan hyvin vähän. Tämän vuoksi pienemmän lämmönsiirtimen valitseminen ei ole kovinkaan merkityksellistä. Danfossilta saatujen tietojen mukaan /7/ käyttöveden lämmönsiirtimen tehon laskemisella 250 kW:sta 200 kW:iin saavutetaan noin 200 euron säästö lämmönjakokeskuksen kokonaishinnassa. Lämmönsiirtimen levy-määrän vähentämisellä saavutetaan vieläkin pienempi säästö. Koko lämmönsiirrintyy-pin muuttuessa voidaan saavuttaa hieman enemmän säästöä, muttei kuitenkaan mer-kittävästi kokonaiskustannuksiin nähden.

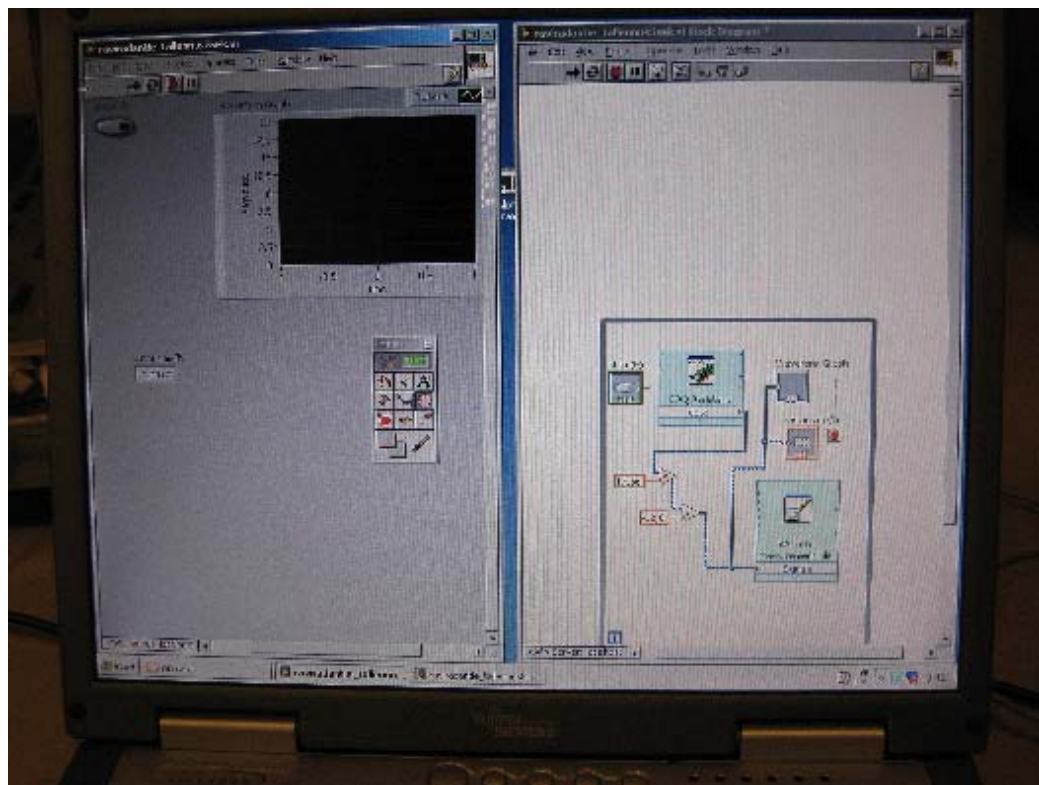
Investointikustannusten takia ei lämmönsiirtimien mitoitusta kannata tiukentaa. Myös suuremman käyttöveden lämmönsiirtimen hyvät puolet puoltavat suuremman käyttö-veden lämmönsiirtimen valintaa.



## 7. MITTAUSMENETELMÄT

Lämpimän käyttöveden virtauksen mittaamiseen käytettiin Fuji Portaflow X -ultraäänivirtausmittaria (kuva 4), joka oli kytketty tietokoneeseen. Anturina mittarissa oli FLD-22 ultraäänianturi (kuva 5). Ultraäänianturi kytkettiin lämpimän käyttöveden syöttöjohtoon, jolloin lämpimän käyttöveden kiertojohdon virtaamaa ei tarvinnut huomioida virtauksia mitattaessa. Ultraäänianturi kytkettiin mahdollisimman pitkään suoraan putkiosuuteen, jotta putken mutkat häiritisivät mahdollisimman vähän virtauksen mittausta.

Tietokoneessa historiatietojen tallennukseen käytettiin Labview-ohjelmalla (kuva 3) tehtyä sovellusta. Ohjelma tallensi virtaaman viiden sekunnin välein. Mittausväliksi täytyi ottaa mahdollisimman lyhyt aika, koska virtaamapiikit saattavat olla hyvin lyhytkestoisia. Mittausjakson pituus vaikutti siihen, ettei ollut mahdollisuutta ottaa lyhyempää mittausväliä, koska mittausdataa tuli tälläkin aikavälillä todella paljon.



**Kuva 3. Labview-ohjelma**



**Kuva 4. Fuji Portaflow X**



**Kuva 5. FLD22 Ultraäänianturi**

Lämpötilojen mittaukseen ja historiatietojen tallennukseen käytettiin Eltek Squirrel -dataloggeria (Kuva 6), johon oli kytketty kuusi pintalämpötila-anturia (kuva7). Lämpötila-anturit teipattiin tiukasti kiinni putkeen ja päällystettiin eristeellä, jotta mittaus-tulos olisi mahdollisimman luotettava. Aina kun oli mahdollista, eristys tehtiin käyttämällä putkien omia eristeitä, jolloin lämmönjakohuoneen ilma ei häirinnyt mittauksia. Lämpötilojen mittausväli oli 30 sekuntia, koska lämpötilanvaihtelut eivät ole kuitenkaan niin nopeita kuin virtauksen vaihtelut. Mittausjärjestelmään oli asennettu yhteensä kuusi anturia: kaukolämmön meno- ja paluujohtoon, käyttöveden lämmönsiir-timen meno- ja paluujohtoon, kylmän veden syöttöjohtoon sekä lämpimän käyttöve-den putkeen. Mitattuja arvoja verrattiin kiinteistön automaation antamiin arvoihin. Kiinteistöautomaation mittarit näyttivät muutamaa astetta korkeampaa lämpötilaa, koska anturit oli sijoitettu ja eristetty paremmin. Virtaus- ja lämpötilamittauksien vaihtelut on otettu huomioon tuloksissa käyttämällä riittävän suurta virhemarginaalia.



**Kuva 6. Eltek Squirrel**



**Kuva 7. Lämpötila-anturi**

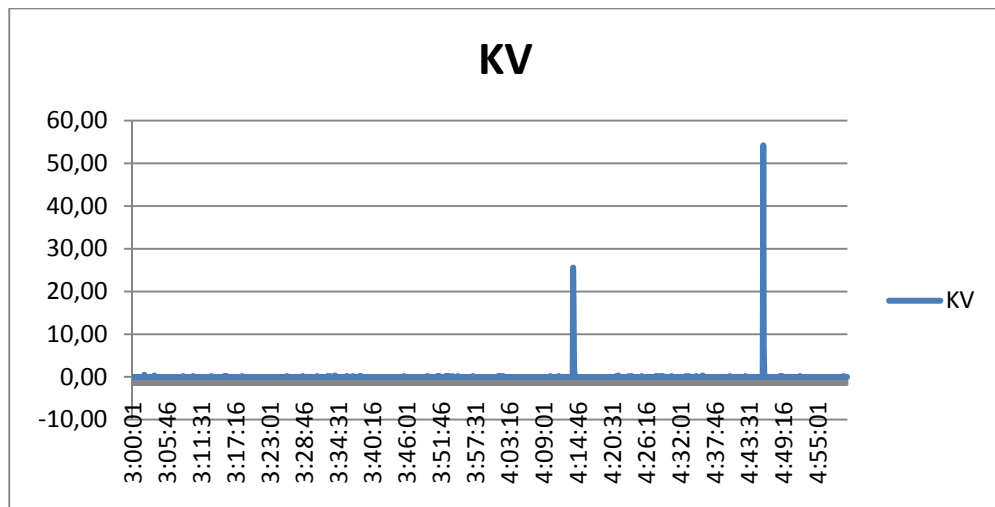
## 8. MITTAUKSET

Mittaukset suoritettiin neljässä kohteessa eri puolilla Mikkeliä. Kohteet on valittu siten, että niiden välillä on mahdollista suorittaa vertailua lämpimän veden käytön ja näin ollen myös mitoituksen onnistumisen suhteen. Mittausten aikana ulkoilman lämpötila oli hyvin alhainen, miinus kymmenestä asteesta aina miinus 25 asteeseen saakka.

Mittauksissa suurimpia ongelmia aiheutti ultraäänivirtausmittaus yhdistettynä tietokoneella tehtävään historiatietojen tallennukseen. Vaikka mittauslaitteisto kalibroitiin testipenkeissä mahdollisimman tarkaksi, mittaustuloksissa esiintyy silti epäilyttäville tuntuja arvoja. Ensimmäisessä kohteessa, Vihertornissa, esiintyi myös mittauskatkoksia. Katkokset johtuivat tietokoneen ongelmasta, minkä takia Vihertornista saatu mittausdata on katkonaista ja ajoittuu noin kahden viikon aikavälille. Vihertornin mit-

tausten jälkeen tietokone, jolla ajettiin Labview-sovellusta, vaihdettiin ja näin päästiin eroon ongelmallisista katkoksista mittauksissa.

Virtausmittauksissa esiintyi myös epämääräisiä virtaamapiikkejä, jotka eivät voineet millään olla todellisia virtaamia. Alapuolella on esimerkkikuvaaja (Kaavio 1) tämänkaltaisesta virtaamapiikistä. Virtaamapiikki on ainoastaan viiden sekunnin mittainen joka tekee siitä täysin mahdottoman. Tämänkaltaisen häiriön mittauksiin on voinut aiheuttaa kosketushäiriö mittarien liittimissä tai sitten jokin toinen laite on häirinnyt virtausmittausta.



**Kaavio 1. Virtausmittauksen virheet**

Kaavio 1. esittää lämpimän käyttöveden virtaamaa aikavälillä 03.00-05.00.

Kuvaajassa esiintyvät virtaamapiikit eivät voi olla todellisuudessa mahdollisia.

Korkeampi piikki  $50,22 \text{ m}^3/\text{h}$ , joka vastaa  $13,95 \text{ l/s}$ , ei voi millään olla mahdollinen virtaama edes päiväaikaan, saati sitten yöllä. Tällaiset yksittäiset virtaamapiikit on poistettu lopullisista tuloksista, niiden ollessa selkeitä mittalaitteiston virheitä.

Testipenkissä virtausmittaria testattaessa ei tapahtunut minkäänlaisia häiriöitä ja mittari näytti samoja lukemia kuin testausjärjestelmään kytketty paine-eromittari ja magneettinen virtausanturi. Testit tehtiinkin laboratorio-olosuhteissa missä ei ollut minkäänlaisia häiriötekijöitä.

Tutkimuksessa suurimman virheen aiheuttaa putken päälle asennettavan ultraäänivirtausmittauksen epätarkkuus ja epäluotettavuus. Ultraäänivirtausmittari on kohtuullisen tarkka optimaalisissa olosuhteissa ja oikein asennettuna. Jo pienet virheet asennuksessa tekevät merkittäviä heittoja mittaustuloksiin. Mittarin valmistaja antaa mittaustarkkuudeksi  $\pm 2\%$ , mutta tähän tarkkuuteen päästään ainoastaan optimaalisissa oloissa, joissa anturi on asennettu riittävän pitkään suoraan putken osaan, jolloin mutkat eivät häiritse virtauksen mittausta. Työssä on käytetty virtausmittauksen virhemarginaalina  $\pm 10\%$ .

Lämpötila-dataloggerin (Eltek Squirrel) tarkkuudeksi valmistaja ilmoittaa  $\pm 0,2\%$ , mutta tällaiseen mittaustarkkuuteen pääseminen vaatii mittausta paikan ilman häiriötekijöitä. Putken päälle asennettava pintalämpötila-anturi ei ole paras mahdollinen, vaikka kupari onkin lämmönjohtavuudeltaan hyvä materiaali. Parempi vaihtoehto olisi käyttää uppoanturia, jolloin mittarin reagointinopeus ja mittaustarkkuus olisivat huomattavasti paremmat. Lämpötilojen virhemarginaalina on käytetty  $\pm 5\%$ .

## **9. KOHTEET**

Tutkimukseen on valittu neljä saman kokoluokan asuinkerrostaloa. Kohteiden lämmitystekniset tiedot löytyvät liitteistä 1-4.

### **9.1 Vihertorni**

Vihertorni on seitsemänkerroksinen kerrostalo, jossa on 33 huoneistoa ja yhteiset saunatilat. Muutama huoneistoon on rakennettu jälkeenpäin oma sauna. Vihertornissa tehtiin putkiremontti vuonna 2008, jolloin kiinteistön lämmönjakokeskus uusittiin. Saunatilat ovat asukkaiden käytössä perjantaisin ja lauantaisin klo 16:00–21:00.

## **9.2 Moas 7**

Moas 7 on Raviradantiellä sijaitseva opiskelija-asuntola. Kohde on rakennettu vuonna 1984, jonka jälkeen siihen on tehty vain pieniä muutoksia. Asunnot ovat kahden tai kolmen hengen solu-asuntoja ja niitä on yhteensä 45, jolloin asuntopaikkoja on 96. Huoneistoissa on yhteiset keittiö-, wc- sekä suihkutilat. Kaikkien asukkaiden käytössä on yhteiset sauna- sekä pesutilat. Sauna on käytössä keskiviikkona viikkosaunan yhteydessä sekä perjantaina ja lauantaina asukkaiden omien vuorojen mukaan.

## **9.3 Rantakylä**

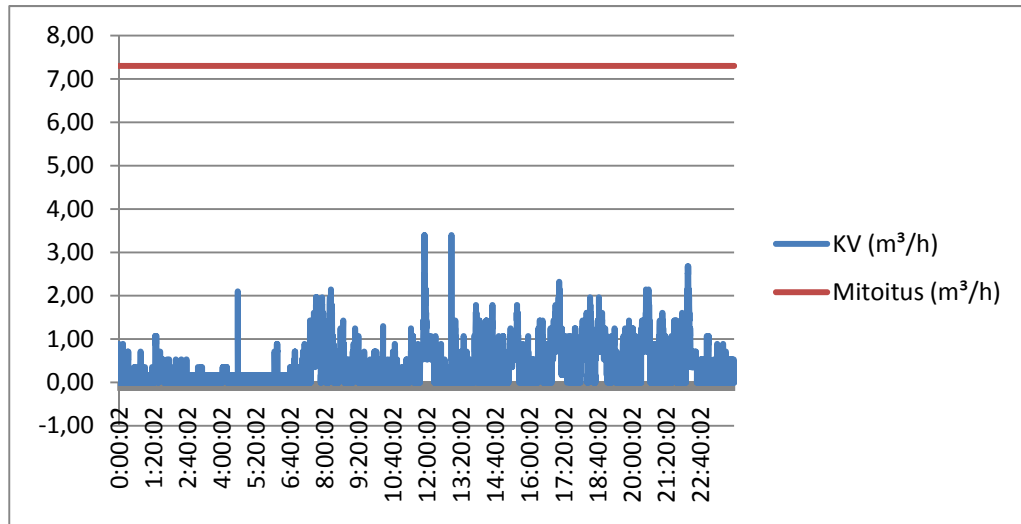
Rantakylässä sijaitseva kerrostalo, jossa on yhteensä 33 asuntoa. Talossa on yhteiset sauna- sekä pesutilat. Yhteiset saunatilat ovat asukkaiden käytössä perjantaina sekä lauantaina.

## **9.4 Moas 4-5**

Moas 4-5 on Raviradantiellä sijaitseva rakennus, jossa on 45 huoneistoa. Osa asunnoista on yksiöitä ja osa kahden hengen soluhuoneistoja. Soluissa on yhteiset keittiö-, wc- sekä suihkutilat. Kohde on rakennettu vuonna 1982, mutta saneerattu täysin vuonna 2009. Kaikkien asukkaiden käytössä on yhteiset sauna- sekä pesutilat. Sauna on käytössä keskiviikkona viikkosaunan yhteydessä sekä perjantaina ja lauantaina asukkaiden omien vuorojen mukaan.

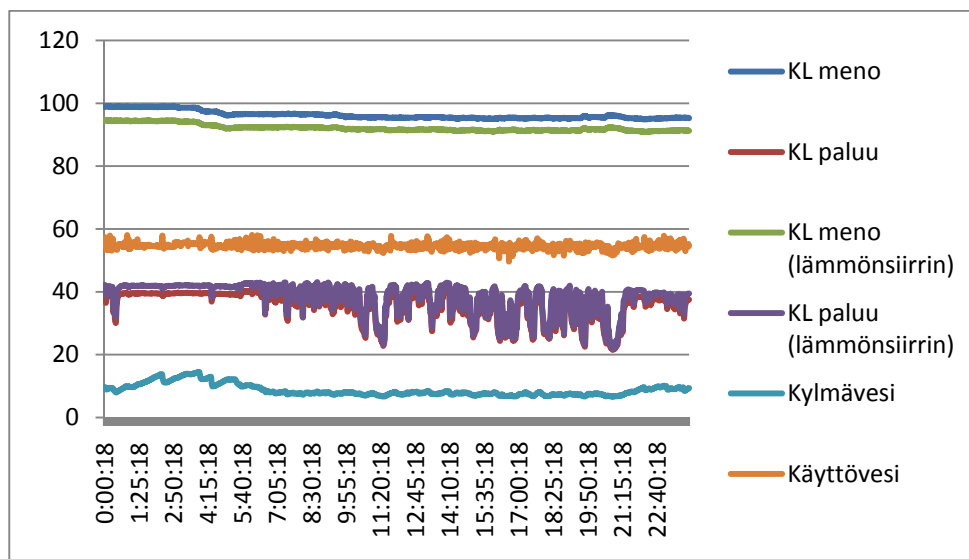
## 10. TULOKSET

Lämpimän käyttöveden huippuvirtaamat on etsitty taulukosta piirtämällä toisiopuolen mitoitusvirtaaman suora ja vertaamalla sitä mitattuun virtaamaan (Kaavio 2.). Taulukoista saatujen huippuvirtaamien ja niitä vastaavien lämpötilojen mukaan on laskettu sen hetkiset huipputehot. Huipputehon aikaiset lämpötilat on mahdollista lukea kaaviosta 3. Lämmönsiirtimien huipputehon laskemiseen käytetään yhtälöä 1.



**Kaavio 2. Lämpimän käyttöveden virtaama, Moas 4-5 Perjantaina 12.3.2010.**

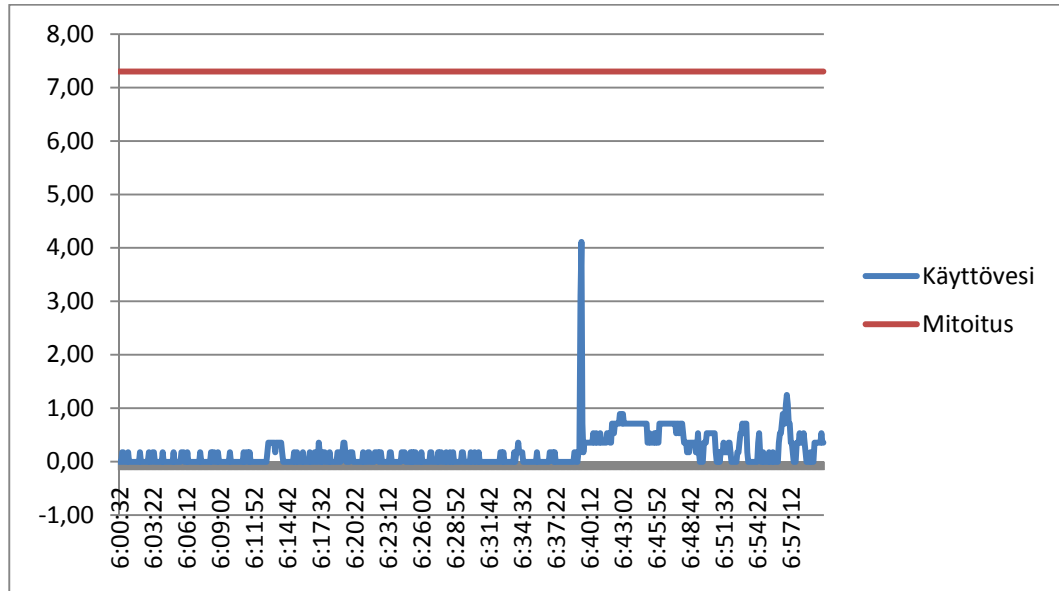
Kaavion 2. kuvaajasta näkee, ettei mitattu lämpimän käyttöveden virtaama käy läheläkään mitoitusvirtaamaa. Käyttöveden virtaaman ollessa korkeimmillaan se on noin puolet lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta.



**Kaavio 3. Mitatut lämpötilat, Rantakylä 27.2.2010.**

## 10.1 Moas 4-5

Kohteessa Moas 4-5 lämpimän käyttöveden mitattu virtaama pysyttelee kokoajan pienenä. Odotettuina kuormitusajankohtina käyttöveden virtaama käy noin puolessa mitoitusvirtaamasta.



**Kaavio 4. Moas 4-5 virtaama**

Hetkellisen huipputehon ajankohta oli 11.3.2010 klo 06.39.

Lämpimän käyttöveden virtaama: 4,1 l m³/h

Käyttöveden lämpötila: 52,55 °C

Kylmän veden lämpötila: 9,15 °C

$$q_v = 1,14 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 52,55 \text{ °C} - 9,15 \text{ °C} = 43,4 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv} = 1,14 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (52,55 \text{ °C} - 9,15 \text{ °C}) = 205,6 \text{ kW}$$

MAX:

$$q_v = 1,254 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 55 \text{ °C} - 8,7 \text{ °C} = 46,3 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv,max} = 1,254 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (55 \text{ °C} - 8,3 \text{ °C}) = 241,2 \text{ kW}$$



MIN:

$$q_v = 1,026 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 50 \text{ °C} - 9,6 \text{ °C} = 40,4 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv,min} = 1,026 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (50 \text{ °C} - 9,6 \text{ °C}) = 172,2 \text{ kW}$$

$$241,2 \text{ kW} - 205,6 \text{ kW} = 35,6 \text{ kW}$$

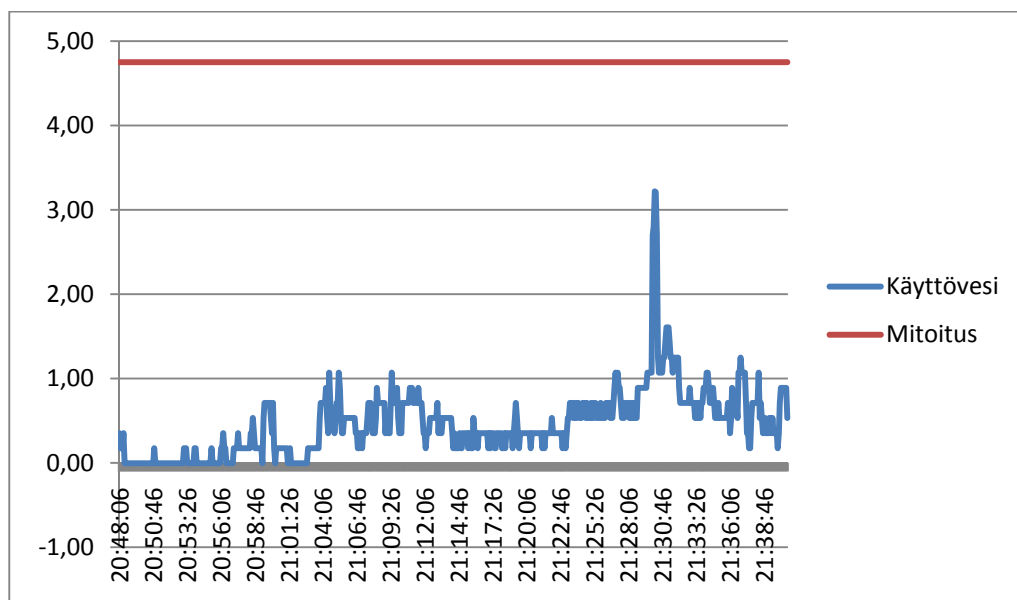
$$205,6 \text{ kW} - 172,2 \text{ kW} = 33,4 \text{ kW}$$

$$\Phi_{kv} = 205,6 \pm 35,6 \text{ kW}$$

Kohteen lämmönsiirtimen teho on 380 kW kun mittauksista saatu huipputeho on ainoastaan  $205,6 \pm 35,6 \text{ kW}$ . Mitattu teho on 45—63 % mitoitetusta tehosta. Tämän perusteella käyttöveden lämmönsiirrin on huomattavasti ylimitoitettu.

## 10.2 Rantakylä

Rantakylässä lämpimän käyttöveden virtaama oli tasaista ja mitään merkittäviä virtaamahuippuja ei esiintynyt.



**Kaavio 5. Rantakylä virtaama**

Hetkellisen huipputehon ajankohta oli 3.3.2010 klo 21.30

Lämpimän käyttöveden virtaama:  $3,22 \text{ m}^3/\text{h}$

Käyttöveden lämpötila: 52,55 °C

Kylmän veden lämpötila: 9,15 °C

$$q_v = 0,9 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 52,55 \text{ °C} - 7,95 \text{ °C} = 44,6 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv} = 0,9 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (52,55 \text{ °C} - 7,95 \text{ °C}) = 178 \text{ kW}$$

MAX:

$$q_v = 0,99 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 58,3 \text{ °C} - 7,5 \text{ °C} = 50,8 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv,max} = 0,99 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (58,3 \text{ °C} - 7,5 \text{ °C}) = 209 \text{ kW}$$

MIN:

$$q_v = 0,81 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 52,8 \text{ °C} - 8,3 \text{ °C} = 44,5 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv,min} = 0,81 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (52,8 \text{ °C} - 8,3 \text{ °C}) = 149,8 \text{ kW}$$

$$209 \text{ kW} - 178 \text{ kW} = 31 \text{ kW}$$

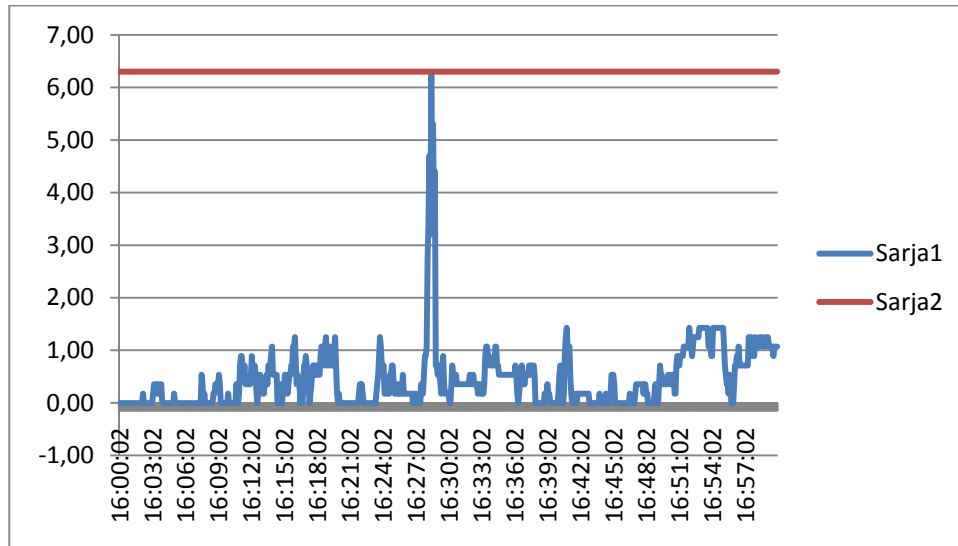
$$178 \text{ kW} - 149,8 \text{ kW} = 28,2 \text{ kW}$$

$$\Phi_{kv} = 178 \pm 31 \text{ kW}$$

Kohteen lämmönsiirtimen teho on 250 kW kun mittauksista saatu huipputeho on ainoastaan 178±31 kW. Mitattu teho on 59—84 % mitoitetusta tehosta. Tämänkin kohteen mitattu teho jää selvästi mitoitetustehon alapuolelle.

### 10.3 Moas 7

Kohteessa Moas 7 virtaamahuiput painottuivat iltapäivään, mikä johtuu varmasti siitä että opiskelijat tulevat silloin koulusta ja käyttävät vettä.



**Kaavio 6. Moas 7 virtaama**

Hetkellisen huipputehon ajankohta oli 20.2.2010 klo 16.28.

Lämpimän käyttöveden virtaama: 6,26 m³/h

Käyttöveden lämpötila: 56,55 °C

Kylmän veden lämpötila: 9,10 °C

$$q_v = 1,74 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 56,55 \text{ °C} - 9,10 \text{ °C} = 47,45 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv} = 1,74 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (56,55 \text{ °C} - 9,10 \text{ °C}) = 343 \text{ kW}$$

MAX:

$$q_v = 1,91 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 59,4 \text{ °C} - 8,6 \text{ °C} = 50,8 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv,max} = 1,91 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (59,4 \text{ °C} - 8,6 \text{ °C}) = 403 \text{ kW}$$

MIN:

$$q_v = 1,57 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\Delta T = 53,7 \text{ °C} - 9,56 \text{ °C} = 44,14 \text{ °C}$$

$$\Phi_{kv,min} = 1,57 \text{ dm}^3 / \text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK °C} * 0,994 \text{ kg/dm}^3 * (53,7 \text{ °C} - 9,56 \text{ °C}) = 288 \text{ kW}$$

$$403\text{kW}-343\text{kW}=60\text{ kW}$$

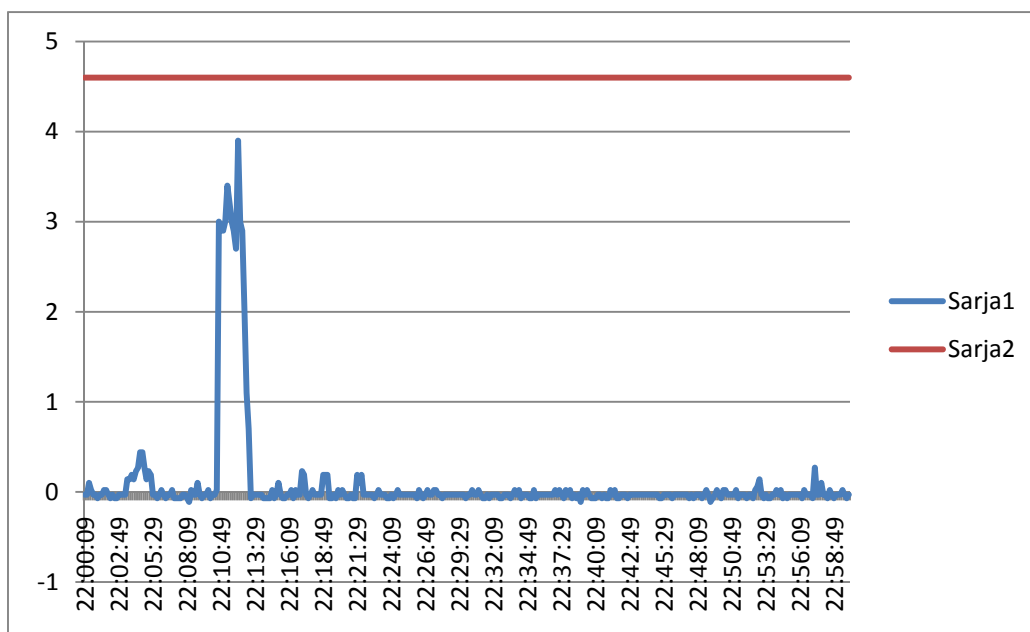
$$343\text{ kW}-288\text{ kW}=55\text{kW}$$

$$\Phi_{kv}=343 \pm 60\text{ kW}$$

Kohteen lämmönsiirtimen teho on 350 kW, kun mittauksista saatu huipputeho on 343  $\pm$ 60 kW. Mitattu teho on 80—115 % mitoitetusta tehosta. Tämä on ainoa kohde, jossa mitoitus-teho ylittyy. Tämän voivat selittää mittalaitteista johtuvat suuret virhemarginaalit tai häiriöt virtausmittauksessa. Mitattu huipputeho on kuitenkin hyvin lähellä käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus-tehoa.

#### 10.4 Vihertorni

Vihertornissa virtausmittauksessa oli ongelmia tietokoneen epävakauden takia. Lopulta katkonaista mittausdataa saatiin kuitenkin noin viikon mittainen jakso.



**Kaavio 7. Vihertorni virtaama**

Hetkellisen huipputehon ajankohta oli 5.2.2010 klo 22.11.

Lämpimän käyttöveden virtaama: 3,40 m<sup>3</sup>/h

Käyttöveden lämpötila: 54,45 °C

Kylmänveden lämpötila: 10,65 °C

$$q_v=0,94\text{dm}^3/\text{s}$$

$$\Delta T=54,45\text{ }^\circ\text{C}-10,65\text{ }^\circ\text{C}=43,8\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Phi_{kv}=0,98\text{dm}^3/\text{s} * 4,18\text{ kJ/kgK }^\circ\text{C} * 0,994\text{ kg/dm}^3 * (54,45\text{ }^\circ\text{C}-10,65\text{ }^\circ\text{C})=178,3\text{ kW}$$

MAX:

$$q_v=1,03\text{dm}^3/\text{s}$$

$$\Delta T=57,2\text{ }^\circ\text{C}-10,1\text{ }^\circ\text{C}=47,1\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Phi_{kv,\text{max}}=1,03\text{dm}^3/\text{s} * 4,18\text{ kJ/kgK }^\circ\text{C} * 0,994\text{ kg/dm}^3 * (57,2\text{ }^\circ\text{C}-10,1\text{ }^\circ\text{C})=201,6\text{ kW}$$

MIN:

$$q_v=0,85\text{dm}^3/\text{s}$$

$$\Delta T=51,7\text{ }^\circ\text{C}-11,2\text{ }^\circ\text{C}=40,5\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Phi_{kv,\text{min}}=0,85\text{dm}^3/\text{s} * 4,18\text{ kJ/kgK }^\circ\text{C} * 0,994\text{ kg/dm}^3 * (51,7\text{ }^\circ\text{C}-11,2\text{ }^\circ\text{C})=143\text{ kW}$$

$$201,6\text{ kW}-178,3\text{ kW}=23,3\text{ kW}$$

$$178,3\text{ kW}-143\text{ kW}=35,3\text{ kW}$$

$$\Phi_{kv}=178,3\pm35,3\text{ kW}$$

Kohteen lämmönsiirtimen teho on 257 kW kun mittauksista saatu huipputeho on ainoastaan  $178,3\pm35,3\text{ kW}$ . Mitattu teho on 56—83 % mitoitetusta tehosta. Tässäkin kohteessa jäädään selvästi mitoitetun tehon alapuolelle.

## 11. SÄÄTÖVENTTIILIN KOON VAIKUTUS SÄÄTÖÖN

Jos käyttöveden lämmönsiirrin on tarpeettoman tehokas, vaikuttaa se myös säätöventtiilin valintaan. Lämmönjakokeskuksen ensiöpuolen säätöventtiilit mitoitetetaan lämmönmyyjän ilmoittaman käytettävissä olevan paine-eron mukaan. Käytettävissä olevasta paine-erosta vähennetään lämmönsiirtimen ja putkiston aiheuttama painehäviö ja jäljelle jäävä paine-ero käytetään säätöventtiilin painehäviöksi /1/.

### Säätöventtiilin mitoitus kohteeseen Vihertorni mitoitusvirtaamalla

Lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero on 140 kPa, josta vähennetään putkistolle ja siirtimelle varattu painehäviö 25 kPa:  
 $140\text{kPa}-25\text{kPa}=115\text{kPa}$ .

Mitoitusvirtaama  $1,29\text{ dm}^3/\text{s}=4,644\text{ m}^3/\text{h}$ .

kv-arvon laskeminen:

$$k_v = \frac{4,644\text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{1,15\text{ bar}}} = 4,0$$

Venttiilin painehäviön laskeminen:

$$\Delta p_{sv} = \left( \frac{4,644}{4,0} \right)^2 = 1,34\text{ bar}$$

Venttiilin vaikutusasteen laskeminen:

$$\beta = \frac{1,34\text{ bar}}{1,40\text{ bar}} = 0,96$$

### Säätöventtiilin mitoitus kohteeseen Vihertorni mitatulla virtaamalla

Lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero on 140 kPa, josta vähennetään siitä putkistolle ja siirtimelle varattu painehäviö 25 kPa:  
 $140\text{kPa}-25\text{kPa}=115\text{kPa}$

Mitattuvirtaama  $0,94\text{ dm}^3/\text{s}=3,4\text{ m}^3/\text{h}$

kv-arvon laskeminen:

$$k_v = \frac{3,4\text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{1,15\text{ bar}}} = 3,0$$

Venttiilin painehäviön laskeminen:

$$\Delta p_{sv} = \left( \frac{3,4 \text{ m}^3/\text{h}}{3,0} \right)^2 = 1,28 \text{ bar}$$

Venttiilin vaikutusasteen laskeminen:

$$\beta = \frac{1,28 \text{ bar}}{1,40 \text{ bar}} = 0,91$$

Jos säätöventtiili mitoitetaan mitoitusvirtaamalla, niin säätöventtiilin auktoriteetiksi tulee todellista suurempi arvo. Säätöventtiilin auktoriteetti jää sitä pienemmäksi, mitä kauemmas todellinen virtaama jää mitoitusvirtaamasta. Tämän takia säätöventtiili tulisi mitoittaa aina hieman tiukemmaksi, jotta lämpimän käyttöveden säätö pysyisi tarkkana ja lämpötilalaatu kohdallaan.

## 12. YHTEENVETO

Tutkimuksen edetessä ilmeni, ettei tutkimuslaitteisto ollut riittävän luotettava tämänkaltaisiin mittauksiin. Tutkimuslaitteiston suurimpana puutteena oli luotettavan virtausmittauksen ja historiatietojen tallennuksen puuttuminen. Virtausmittauksen epätarkkuus johtui mittarin ja tietokoneen ongelmista, joihin ei tällä aikataululla ollut mahdollisuutta saada ratkaisua. Virtausmittausten epäluotettavuuden takia tutkimus on ainoastaan suuntaa-antava. Luotettavien tuloksien saavuttamiseksi tarvittaisiin erittäin luotettava ja mittaustarkkuudeltaan hyvä mittausteist.

Putken päälle asennettava ultraäänivirtausmittaus ei ole riittävän luotettava tämänkaltaisiin mittauksiin, joissa historiatiedot tallennetaan tietokoneella. Luotettavampi ratkaisu mittausten hoitamiseen olisi kylmän veden syöttöjohtoon kiinteästi asennettava anturi, esimerkiksi induktiivianturi. Historiatiedot pitäisi pystyä tallentamaan luotettavasti ja riittävän tiheällä mittaussvälillä, jotta lyhytkestoisetkin virtaamahuiput olisi mahdollista löytää. Tämänkaltaisessa tutkimuksessa voisi käyttää jonkinlaista piirturia virtaama tiedon tallennukseen. Myös lämpötilojen mittaustarkkuutta olisi syytä parantaa, jotta tulokset olisivat luotettavampia. Lämpötila-antureina olisi syytä käyttää uppoantureita, jotta mittarit reagoisivat riittävän nopeasti lämpötilan vaihteluihin. Vali-

tettavasti työssä ei ollut resursseja ja aikaa riittävän hyvän mittauslaitteiston kehittämiseen ja rakentamiseen.

Lasketuista tehoista kolmessa kohteessa neljästä huipputeho jää mitoitus-tehon alapuolelle. Näiden tulosten perusteella lämmönsiirtimet saattavat olla tarpeettoman tehokkaat. Kohteessa Moas 7, jossa mitattu teho ylittää mitoitus-tehon, voi olla tapahtunut virhe virtausmittauksessa, koska huipputehon laskemiseen käytetty virtaama ei toistu mittaustuloksissa useasti.

Mittaustuloksista voi päätellä että mitoitettaessa käyttöveden lämmönsiirrin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 ja energiateollisuuden julkaisun K1 mukaan voi tapahtua ylimitoitusta. Mittausjakso ja otanta ovat kuitenkin niin lyhyet, ettei varmoja johtopäätöksiä ole mahdollista tehdä. Lämpimän käyttöveden virtaama kävi ainoastaan kohteessa Moas 7 lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamassa ja siinäkin vain lyhyen ajanjakson. Muissa kohteissa lämpimän käyttöveden virtaama ei saavuttanut missään vaiheessa mitoitusvirtaamaa. Tämän perusteella voi päätellä, että mitoitusvirtaama on todennäköisesti suurempi kuin todellinen lämpimän käyttöveden virtaama. Viikon mittainen mittausjakso oli kuitenkin niin lyhyt, ettei voida olla varmoja siitä että virtaamahuippu osui juuri kyseiselle ajanjaksolle. Jos mittausjakso olisi pidempi, esimerkiksi kaksi kuukautta, olisi todennäköisempää, että virtaama on käynyt ainakin lähellä huippulukemaa.

Säästö pienemmästä lämmönsiirtimestä on kuitenkin niin pieni, ettei pienempää siirrintä kannata valita, koska suuremmalla siirtimellä saavutetaan parempi ja tasaisempi lämpötilansäätö ja näin ollen lämpötilalaatu on huomattavasti parempi. Kaukolämmön jäähdytys on myös parempi suurempaa siirrintä käytettäessä.

Säätöventtiilin valinnassa tulee ottaa huomioon todellisen virtaaman ja mitoitusvirtaaman ero. Jos lämpimän käyttöveden säätöventtiili mitoitetaan ylisuuren mitoitusvirtaaman mukaan, tulee säädöstä yleensä epätarkka. Säätöventtiiliksi olisi hyvä aina valita hieman tiukempi venttiili, jotta venttiilin todellinen auktoriteetti olisi riittävä tasaiseen ja tarkkaan lämpötilan säätöön.



Investointikustannukset eivät myöskään puolla pienemmän siirtimen valintaa, koska siirtimien koon pienentämisellä noin 20 %:a saavutetaan ainoastaan kokonaisuuden kannalta merkityksettömiä säästöjä lämmönjakokeskuksen kokonaishinnassa. Tämän takia pienemmän siirtimen valinnalle ei löydy perusteita.

### 13. LÄHTEET

/1/ Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. 1995.

/2/ VTT: Käyttöveden lämmityksen suunnittelu ja mitoitus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1993.

/3/ www-sivu. <http://sinuhe.jypoly.fi/intra/public/mathcad/sk/LAMPO/Lampo010.htm>.  
luettu 16.5.2010

/4/ Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Suomen Rakentamismääräyskoelma osa D1. Helsinki. 2007.

/5/ Energiateollisuus ry, Lämmönkäyttötoimikunta. Julkaisu K1. Helsinki. 2007.

/6/ Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Suomen Rakentamismääräyskoelma osa D5. Helsinki. 2007.

/7/ Danfoss LPM, puhelin haastattelu, Jere Saarela, Tekninen myyjä. 2010



## LIITE 2: Vihertorni lämmitystekniset tiedot.

[illegible]

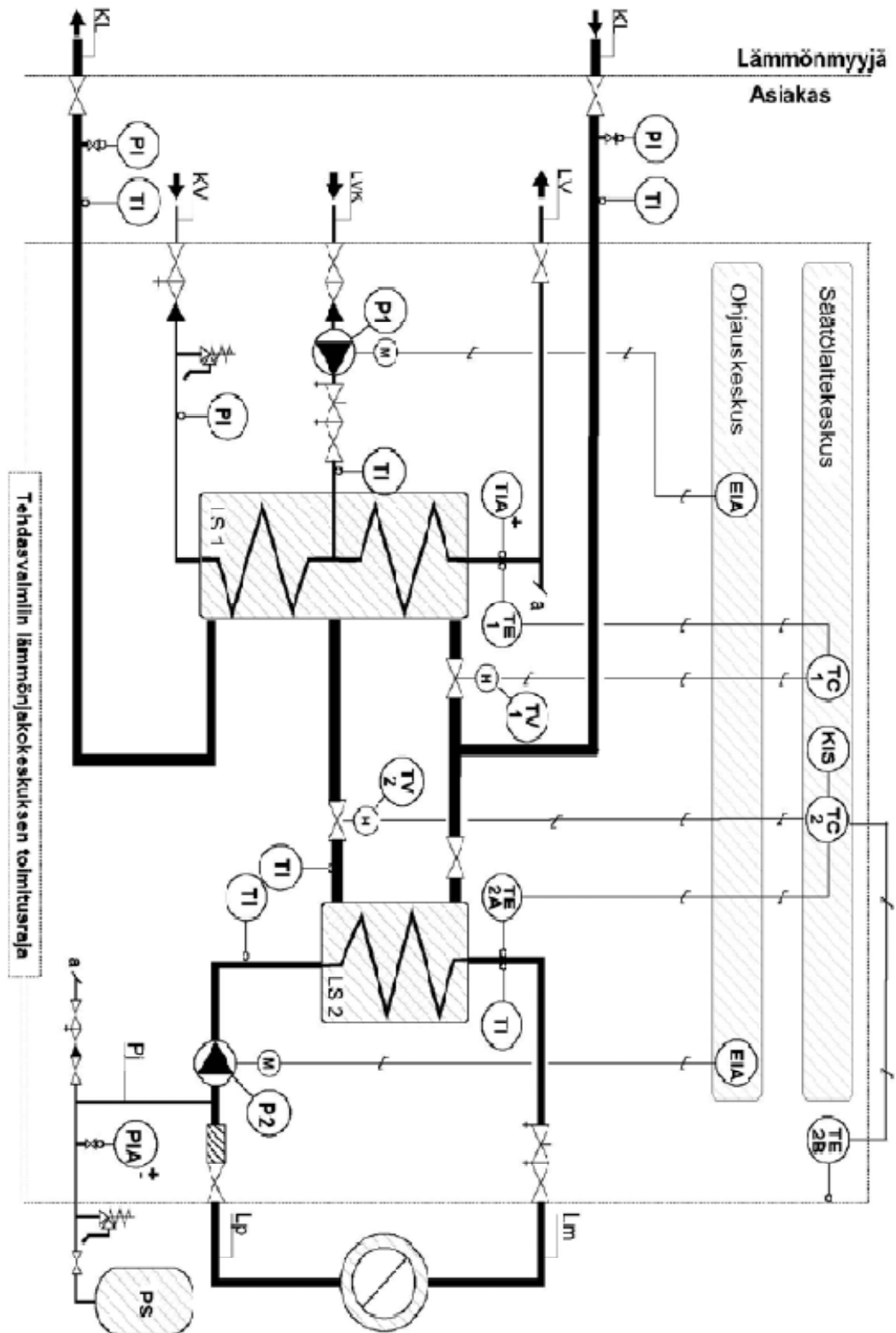
### LIITE 3: Moas 4-5 lämmitystekniset tiedot

[illegible]

LIITE 4: Rantakylä lämmitystekniset tiedot.

[illegible]

## LIITE 5: Peruskytkentä 1



LIITE 6: Peruskytkentä 2

